

## Method and apparatus for detecting a fault of a control valve assembly in a control loop

Publication number: DE69515096T

Publication date: 2000-07-20

Inventor: PYOETSAIE JOUNI (FR)

Applicant: NELES CONTROLS OY HELSINKI (FI)

Classification:

- International: F16K37/00; G05B9/02; F16K37/00; G05B9/02; (IPC1-7): G05B9/02; F16K37/00

- European: F16K37/00G; G05B9/02

Application number: DE19956015096T 19950918

Priority number(s): US19940324653 19941018

Also published as:

EP0708389 (A1)

US5748469 (A1)

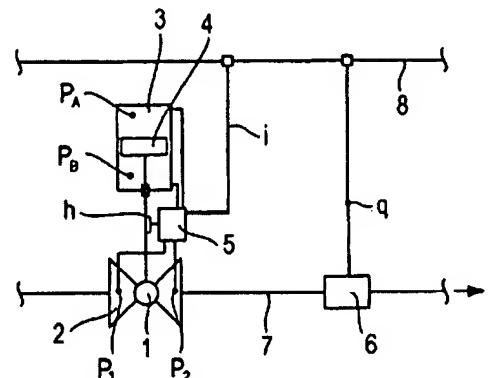
EP0708389 (B1)

[Report a data error here](#)

Abstract not available for DE69515096T

Abstract of corresponding document: US5748469

A method and apparatus for detecting a fault of an automatically operated control valve assembly. Data consisting of several values of the control signal (i) and corresponding values of the position (h) of the control valve is measured and recorded. A mathematical model for the control valve assembly is defined. The mathematical model is fitted to the data measured from the control signal (i) and the position (h) of the control valve. At least one critical parameter for each component of the valve assembly, that is the valve (2) itself, the actuator (3) and the positioner (5), is chosen. The values and changes of the critical parameters are computed from the mathematical model fitted to the measured data. The component in which the fault is located is detected on the basis of the computed values of the critical parameters.



Data supplied from the [esp@cenet](mailto:esp@cenet) database - Worldwide



⑯ BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES

PATENT- UND  
MARKENAMT

⑯ Übersetzung der  
europäischen Patentschrift  
⑯ EP 0 708 389 B 1  
⑯ DE 695 15 096 T 2

⑯ Int. Cl.<sup>7</sup>:  
**G 05 B 9/02**  
F 16 K 37/00

⑯ Deutsches Aktenzeichen: 695 15 096.0  
⑯ Europäisches Aktenzeichen: 95 306 546.3  
⑯ Europäischer Anmeldetag: 18. 9. 1995  
⑯ Erstveröffentlichung durch das EPA: 24. 4. 1996  
⑯ Veröffentlichungstag der Patenterteilung beim EPA: 16. 2. 2000  
⑯ Veröffentlichungstag im Patentblatt: 20. 7. 2000

⑯ Unionspriorität:  
324653 18. 10. 1994 US

⑯ Erfinder:  
Pyötsiä, Jouni, F-00930 Helsinki, FR

⑯ Patentinhaber:  
Neles Controls OY, Helsinki, FI

⑯ Vertreter:  
Einsel, M., Dipl.-Phys., Pat.-Anw., 38102  
Braunschweig

⑯ Benannte Vertragstaaten:  
DE, FR, GB

⑯ Verfahren und Vorrichtung zur Ermittlung eines Fehlers einer Steuerventilanordnung in einem Regelkreis

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patent- und Markenamt inhaltlich nicht geprüft.

### Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Ermittlung eines Fehlers einer automatisch betätigten Steuerventilanordnung in einem Regelkreis derart, dass die 5 aus mehreren Werten eines Steuersignals und entsprechender Werte der Position des Steuerventils bestehenden Daten gemessen und gespeichert werden.

Die Erfindung betrifft außerdem eine Vorrichtung zur Ermittlung eines Fehlers in einer automatisch betätigten Steuerventileinrichtung, wobei die Ventileinrichtung ein Steuerventil, einen Aktuator und einen Digitalpositionierer enthält, ferner Ein- 10 richtungen zum Messen, Übertragen, Speichern und Verarbeiten von Daten.

Die Bedeutung von fortgeschrittener Überwachung von Steuerventilen hat sich dadurch weiter erhöht, dass es gewünscht wird, die Überwachungskosten zu senken, die Sicherheit zu erhöhen und die Verfahren akkurat ablaufen zu lassen, 15 während Energie gespart und Abfall reduziert wird. Neue Positionierer, die auf der Digitaltechnologie basieren, geben hierfür bessere Möglichkeiten. Andererseits hat die Entwicklung von neuen Datentransferbussen bessere Möglichkeiten zum Übertragen diagnostischer Daten aus den Feldgeräten zum automatischen System und zum Übertragen von Messdaten von Sensoren 20 außerhalb des Steuerventils zum Steuerventil gegeben.

Ein Steuerventil und seine Arbeitsweise sind bekannt und müssen hier nicht mehr im Detail beschrieben werden. Ein Vierteldrehungsventil kann zum Beispiel ein Kugelventil oder ein Drosselklappensventil sein. Beispiele für ein Kugelventil 25 sind unter anderem im US-Patent 4,747,578 offenbart. Ein Steuerventil wird mittels eines Aktuators betätigt, welcher den Stößel eines Verschlusselementes zwischen offenen und geschlossenen Positionen dreht. Ein Aktuator kann mittels einer Zylinder-Kolbenvorrichtung betätigt werden, die ihrerseits mittels eines Regelventils geregelt wird. Ein Ventilpositionierer betätigt den Aktuator in 30 Abhängigkeit von einem Steuersignal.

Verschiedene Systeme sind für die Diagnose von Steuerventilen entwickelt worden und diese Systeme können zum Messen und Testen von Ventilen

verwendet werden, um fehlerhafte Arbeitsweisen zu ermitteln. Die US-Patente 5,272,647, 5,233,512, 4,509,110, 4,213,175 und 5,129,418 beschreiben alle verschiedene diagnostische Anordnungen. Allerdings ermöglichen sie es nicht, den zu ermittelnden Fehler zu lokalisieren.

5

Die EP 315 391 offenbart ein Monitorsystem für Online-Ventildiagnosen, um die Ventilarbeitsweise zu verfolgen und die Abnutzung zu messen und auf Seite 3, Zeilen 46 bis 52 wird ausgesagt, dass das Ventil eine Vielzahl von Sensoren (24, 31, 34, 36) aufweist, die mit jedem Ventil zusammenwirken, wobei jeder 10 Sensor gleichzeitig eine unterschiedliche Arbeitscharakteristik des Ventils misst, um korrespondierende unterschiedliche Sensorstatussignale zu erzeugen; eine Datenermittlungseinrichtung (40, 42) zum Übertragen der Sensorsignale zur Verarbeitung; gekennzeichnet durch eine Verarbeitungseinrichtung (44, 46) zum Verarbeiten der Sensorsignale zur Erzeugung verarbeiteter Signale und zum 15 Vergleichen der verarbeiteten Signale zur Erzeugung einer Diagnose des Ventils; und eine Ausgabeeinrichtung (52) zum Anzeigen des diagnostizierten Zustandes des Ventils. Eine Vielzahl an Sensoren wird als spezifisch und zusätzlich vorgesehen bezeichnet und die Signale dieser Sensoren werden mittels eines spezifischen Prozessors verarbeitet, und der Zustand des Ventils wird durch 20 Vergleichen dieser verarbeiteten Signale angezeigt.

Manche Systeme, wie beispielsweise das in dem US-Patent 5,197,328 beschriebene, machen es möglich, den Grund einer fehlerhaften Betriebsweise zu lokalisieren, aber es erfordert eine komplizierte Messanordnung und eine Menge 25 von Messdaten aus verschiedenen Komponenten der Steuerventilanordnung, das heißt aus dem Ventil selbst, dem Aktuator und dem Positionierer.

Die Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, ein Verfahren und eine Vorrichtung zu schaffen, die in der Lage sind, unabhängig Schlussfolgerungen aus fehlerhafter Betriebsweise zu ziehen und die fehlerhafte Komponente mittels 30 einer einfachen Messanordnung und durch Verwendung eines mathematischen Modells einer Steuerventilanordnung und eines Datenübertragungsbusses zu lokalisieren. Ein mathematisches Modell, dass die Dynamik eines Vierteldre-

hungssteuerventils beschreibt ist offenbart in dem ISA-Papier 92-0408; Bd. 47, Teil 2, 1992, Seiten 1341 bis 1353; I. Pyotsia: „Ein mathematisches Modell eines Steuerventils“.

- 5      Gemäß der vorliegenden Erfindung wird ein Verfahren zum Ermitteln eines Fehlers und zum Identifizieren der Komponente, in der der Fehler in einer automatisch betätigten Ventilanordnung jenes Typs auftritt vorgeschlagen, der mehrere Komponenten einschließlich wenigstens eines Aktuators, eines Ventilelementes und eines durch ein Steuersignal gesteuerten Positionierers
- 10     besitzt, gekennzeichnet durch die folgenden Schritte:
  - (a)    Festlegen eines mathematischen Modells zur Arbeitsweise einer Steuerventilanordnung, wobei das Modell gebildet wird aus wenigstens einer Gleichung und kritische Parameter für wenigstens einen Aktuator, das Ventilelement und den Positionierer enthält, wobei jeder Parameter die Arbeitsweise von einer der Komponenten der Ventilanordnung beschreibt;
  - 15     (b)    Sammeln von mehreren Werten des Steuersignals und korrespondierender Positionen des Ventilelements;
  - 20     (c)    Berechnen der kritischen Parameter des Modells auf der Grundlage gemessener Daten, so dass das Modell die aktuelle Arbeitsweise der Ventilanordnung wiedergibt; Überwachen oder Beobachten der Änderungen in den kritischen Parametern auf der Grundlage von an diese angepassten Parametern; und Lokalisieren der fehlerhaften Komponente der Ventilanordnung durch Ermitteln einer signifikanten Änderung der korrespondierenden kritischen Parameter.

Das Verfahren basiert auf der Identifizierung von bestimmten kritischen Parametern eines mathematischen Modells, das die dynamischen und statischen Eigenschaften eines Steuerventils definiert, und auf dem Verfolgen der Änderungen in diesem Parametern. Das macht es möglich, den fehlerhaften Punkt zu ermitteln und auf ihn zu schließen. Die Vorteile des Verfahrens bestehen darin, dass die fehlerhafte Arbeitsweise und die Lokalisierung der fehlerhaften Komponente z. B. mittels lediglich des Steuersignals und der Ventilpositionsdaten definiert werden können.

Um Abnutzungsbeschädigungen des Verschlusselementes oder mögliche Verstopfungen in dem Ventilkörper zu ermitteln ist es erforderlich, zusätzlich den Druck an dem Ventil zu messen und Daten des Volumendurchflusses durch das Ventil zu erhalten. Diese Daten können am besten durch einen Datenübertragungsbust aus den Messsensoren erhalten werden.

Die Erfindung und ihre Details werden außerdem anhand eines Beispiels unter Bezugnahme auf die beigefügten Zeichnungen beschrieben, in denen

**Figur 1** schematisch eine Messanordnung für ein Diagnosesystem einer vollständigen Steuerventilanordnung zeigt;

**Figur 2** eine Grafik zeigt, die die Übereinstimmung zwischen einer mittels identifizierter Parameter ausgeführten Simulation und gemessenen Werten erläutert;

**Figur 3** grafisch die relative Veränderung des Kapazitätskoeffizienten eines blockierten Ventils zeigt; und

**Figur 4** grafisch die Abnahme der relativen Kapazitätskoeffizienten eines blockierten Ventils zeigt.

Die Messanordnung aus **Figur 1** macht es möglich, einen Fehler zu ermitteln und zu lokalisieren, der die Dynamik einer Steuerventilanordnung angreift und mögliche Abnutzung des Verschlusselementes des Ventils oder die Verstopfung 5 des Ventilkörpers ermittelt.

In **Figur 1** ist das Verschlusselement 1 eines Ventils versehen mit einem Aktuator 3, der das Ventil mittels eines Zylinders 4 betätigt. Ein Digitalpositionierer 5 ist mit dem Aktuator verbunden. Ein Volumenflusssensor 6 10 ist zwischen dem Auslaufrohr 7 und dem Feldbus 8 verbunden.

Um die dynamische Arbeitsweise des Ventils zu bestimmen, werden lediglich Daten über das Steuersignal  $i$  und die Ventilposition  $h$  von dem Positionstransmitter benötigt. Zusätzlich erfordert die Ermittlung von Abnutzung des 15 Verschlusselementes 1 und Verstopfen des Ventilkörpers 2 Druckmessungen  $p_1$ ,  $p_2$  zum Beispiel des Ventilkörpers 2 und Flussdaten  $q$  von dem Volumenflusssensor 6. Die Volumenflussdaten  $q$  können zum Positionierer 5 des Steuerventils zum Beispiel mittels des Digitalfeldbus 8 übertragen werden. In diesem Falle werden auch die gewünschten Werte des Steuersignals  $i$  an den 20 Positionierer 5 des Steuerventils mittels des digitalen Feldbus 8 übertragen.

Die Lokalisierung eines Fehlers, der die dynamischen Eigenschaften einer Steuerventilanordnung beeinträchtigt wird im Folgenden beschrieben.

25 Die folgende Gleichung kann für ein mathematisches Modell eines Vierteldrehungs-Steuerventils gefunden werden, das mit einem Zylinder-Kolben-betätigten Aktuator versehen ist:

$$(m_{red} \times \frac{dx}{d\psi} + J \times b(\psi)) \frac{d^2\psi}{dt^2} + m_{red} \times \frac{d^2x}{d\psi^2} (\frac{d\psi}{dt})^2 + 30 (f_m \times \frac{dx}{d\psi} + f_v b(\psi)) \frac{d\psi}{dt} + b(\psi) \times M_\mu - F_m (p_A, p_B) = 0 \quad (1)$$

wobei	$x$	= vom Aktuatorkolben zurückgelegte Distanz
	$\psi$	= Rotationswinkel des Ventils
	$t$	= Zeit
	$m_{red}$	= reduzierte Masse des Aktuatorkolbens
5	$J$	= kombiniertes Anfangsmoment des Ventils und des Aktuators
	$b$	= Aktuatorkoeffizient
	$M_\mu$	= Reibungsmoment des Ventils
	$f_m$	= Beschleunigungskoeffizient des Aktuators
	$f_v$	= Beschleunigungskoeffizient des Ventils
10	$F_m$	= auf den Aktuatorkolben ausgeübte Kraft
	$p_A, p_B$	= Druckniveaus des Aktuatorzylinders

Auch wenn in diesem Fall ein Vierteldrehungsventil diskutiert wird, kann das Verfahren entsprechend auf Linearventile übertragen werden.

15 Die Bewegung eines Aktuators wird mittels der Druckniveaus des Zylinders gesteuert, die in der Gleichung (1) als  $p_A, p_B$  angegeben sind. Diese können mittels folgenden mathematischen Modells errechnet werden, das die Druckniveaus des Zylinders definiert:

20 
$$p_A = \psi (k, V_A, T_a, m_a, A_A, x, R, M) \quad (2)$$

$$p_B = \theta (k, V_B, m_B, m_b, A_B, x, R, M) \quad (3)$$

wobei	$\psi, \theta$	= mathematische Funktionen
25	$k$	= polytrope Konstante
	$V_A, V_B$	= Luftvolumen des Aktuatorzylinders
	$m_B$	= Luftmasse in dem Zylinder
	$T_a$	= Temperatur der Luft, die den Zylinder betritt
	$m_a$	= Massenfluss der Luft, die den Zylinder betritt

$m_b$  = Massenfluss der Luft, die den Zylinder verlässt

$A_A, A_B$  = Kolbenflächen des Aktuators

$x$  = ebenso wie in Gleichung (1)

$R$  = Gaskonstante

5  $M$  = Molmasse

Die Druckniveaus werden mittels des Massenflusses gesteuert, der den Zylinder betritt und verlässt. Die betretenden und verlassenden Massenflüsse hängen von den entsprechenden Querschnittsflussflächen des Regelventils des Positionierers ab. Die Querschnittsflussflächen hängen von der Position der Spule oder, bei einem Tellerventilaufbau, von der Position des Tellers des Regelventils ab. Mathematisch kann dies für eine Hälfte des Aktuatorzylinders in folgender Form geschrieben werden:

15  $m_a = f(A_a) = g(e)$  (4)

wobei  $A_a$  = effektive Querschnittsflussfläche der einen Hälfte  $A$  des Regelventils

$e$  = Position der Spule oder des Tellers

20 Ein akkurate mathematische Modell kann für die Funktionen  $f$  und  $g$  gefunden werden, die in der Gleichung auftreten.

25 Die Position der Spule oder des Tellers des Regelventils kann aus dem mathematischen Modell der Regelung des Regelventils errechnet werden. Die folgende mathematische Beziehung kann für konventionelle Positionierer basierend auf der Rückkopplung der Ventilposition gefunden werden:

$e = \phi(k_p, i, h)$  (5)

30 wobei  $\phi$  = mathematische Funktion

$k_p$  = Verstärkung des Positionierers

$i$  = Steuersignal

$h$  = Öffnung des Steuerventils

5 Das Folgende ist eine Beschreibung des Verfahrens des Lokalisierens des Fehlers.

Das erfindungsgemäße Verfahren stützt sich auf die Identifizierung der kritischen Parameter, die die verschiedenen Komponenten der Steuerventilanordnung beschreiben, wie beispielsweise den Positionierer, den Aktuator und das Ventil selbst. Das Identifizieren ist ein Verfahren, bei dem die Parameter eines mathematischen Modells einer Vorrichtung mittels aktueller Messdaten durch Anpassen des Modells an die gemessenen Daten gefunden werden. Je größer die Zahl der zu identifizierenden Parameter ist, desto schwieriger stellt sich die Identifizierung in der Praxis dar. Die gemessenen Daten werden entweder mittels eines separaten Tests oder mehrerer Tests oder lediglich durch das Verfolgen der dynamischen Arbeitsweise der Vorrichtung während des Arbeitsprozesses erhalten.

20 In dem erfindungsgemäßen Verfahren werden die Messdaten lediglich von der Position des Ventils und von dem Steuersignal benötigt. Falls die gemessenen Daten außerdem von den Zylinderdrücken des Aktuators eingeholt werden, unterstützt dieses das Auffinden der Lokalisierung des Fehlers.

25 Das Verfahren stützt sich auf den Umstand, dass ein Test oder eine Reihe von Tests zum Beispiel mittels eines digitalen Positionierers ausgeführt werden, um die erforderlichen Messdaten zu sammeln. Die Messdaten können auch direkt während des Betriebs aus der Steuerventilanordnung gesammelt werden, wenn das Steuersignal, das von dem Regler zu dem Ventil kommt, sich wesentlich ändert. Die gemessenen Daten werden in einem Speicher des Positionierers zur Identifikation aufgezeichnet.

30

Der kritische Parameter oder die Parameter für jede Komponente der Steuerventilanordnung, das sind der Positionierer, der Aktuator und das Ventil selbst, werden aus dem vorstehenden mathematischen Modell mittels der Messdaten identifiziert. Die kritischen Parameter, die die Arbeitsweise einer jeden Komponente beschreiben, werden als die zu identifizierenden Parameter gewählt.

Die Arbeitsweise eines Positionierers wird am besten beispielsweise durch die Verstärkung  $k_p$  des Positionierers beschrieben. Das Ausmaß des Ausgangsimpulses eines Aktuators wiederum kann zum Beispiel durch den Aktuatorkoeffizienten  $b$  ausgedrückt werden. Ein mechanischer Fehler eines Ventils wird üblicherweise offenbar durch Reibung, so dass beispielsweise die Reibungsbelastung  $M_\mu$  der bestgeeignete Parameter zur Identifizierung ist.

Fig. 2 zeigt die Übereinstimmung zwischen einer Simulation, die mit identifizierten Parametern ausgeführt wurde, und gemessenen Werten. Die Kurve zeigt  $i/h$  als Funktion der Zeit. Die Kurve 11 stellt das Eingangssignal dar, die Kurve 12 die Simulation und die Kurve 13 die gemessenen Daten.

Fig. 2 zeigt Messdaten, die mittels eines sinusförmigen Steuersignals erzeugt werden. Die Parameter eines Simulationsmodells, das aus dem mathematischen Modell gewonnen wurde, werden mittels Messdaten identifiziert. Die mit den identifizierten Parametern ausgeführte Simulation entspricht sehr gut den gemessenen Werten, wie man in Fig. 2 erkennen kann.

Das Verfahren kann durch zusätzliche Messung der Druckniveaus  $p_A$ ,  $p_B$  des Zylinders genauer werden. Aufgrund der erhöhten Messdaten kann beispielsweise die Querschnittsflussfläche des Regelventils des Positionierers identifiziert werden. Dies kann außerdem zum Ermitteln der Verschmutzung in einem Regelventil verwendet werden.

Durch das Verfolgen der Änderungen der identifizierten kritischen Parameter ist es möglich, mittels eines Schlussfolgerungsprogramms die Änderungen des Parameters zu beobachten, der die Arbeitsweise einer jeden Komponente beschreibt. Falls eine Änderung oder ein Gleiten in einem bestimmten Parameter

5      in Abhängigkeit von der Zeit stattfindet, zeigt dies, dass wesentliche Änderungen bei der Arbeitsweise dieser Komponente stattfinden. Die Richtung der Änderung zeigt, ob die Arbeitsweise des Steuerventils besser oder schlechter wird. Falls der Wert des kritischen Parameters oder einer bestimmten Komponente sich hinreichend in einer bestimmten Richtung geändert hat, offenbart dies eine

10     fehlerhafte Komponente. Als Ergebnis ist es ebenso möglich, ein Diagramm zu verwenden, das die Änderung einer Abweichung zwischen dem Steuersignal und der Position des Steuerventils zeigt. Eine Änderung in diesem Diagramm offenbart, ob die Abweichung des Steuerventils zunimmt oder abnimmt.

15     Mittels des vorstehenden Verfahrens ist es möglich, durch Verwendung eines einfachen Schlussfolgerungsprogramms automatisch zu suchen, in welcher Komponente der Steuerventilanordnung Betriebsänderungen stattfinden und welche Komponente wahrscheinlich der Grund beispielsweise ist für eine unbefriedigende Steuergenauigkeit.

20     Das Ermitteln der Abnutzung und der Verstopfung eines Steuerventils wird im Folgenden beschrieben.

25     Das Verfahren basiert auf der Betrachtung einer charakteristischen Kurve eines in einem Verfahrensrohrsystem montierten Ventils. In diesem Verfahren soll beispielsweise der Volumenfluss durch ein Ventil mittels eines Volumenflusssensors zusätzlich zum Druck mittels von Drucksensoren im Ventil gemessen werden. Diese Daten können am besten beispielsweise mittels eines Feldbusses erhalten werden.

30

Die Ermittlung von Abnutzung und Verstopfung eines Steuerventils stützt sich beispielsweise auf die Druckdaten, die im Ventilkörper gemessen werden, und auf die Volumenflussdaten, die beispielsweise mittels eines Feldbusses erhalten werden, welcher beispielsweise in einem Digitalpositionierer oder einer Hilfsausrüstung eingesetzt wird, in der das Berechnen und Analysieren stattfindet.

Figur 1 zeigt ein Beispiel, in dem die Position und die mit dem Ventilkörper 1 verbundenen Drucksensoren zum Definieren der Öffnung  $h$  des Ventils und des Eingangsdruckes  $p_1$  und des Entladedruckes  $p_2$  verwendet werden. Diese Daten kombiniert mit der Flussmenge  $q$  erhalten vom Volumenflusssensor 6 machen es möglich, den gesetzten Kapazitätskoeffizienten  $C_v$  eines Steuerventils zu berechnen.

Die aus den Messungen erhaltenen Daten werden beispielsweise in dem Digitalpositionierer 5 gesammelt, wo der Kapazitätskoeffizient des Ventils mittels Gleichungen berechnet wird, die in den Standards IEC 534 (ISAS 75) gesetzt sind.

Die erhaltenen Ergebnisse werden mit einem im Labor gemessenen Kapazitätskoeffizienten verglichen. Aus der Änderung des Kapazitätskoeffizienten kann erkannt werden, ob das Ventil abnutzt oder verstopft ist. Falls Abnutzung im Ventil stattfindet, tendiert der Kapazitätskoeffizient zum Steigen, insbesondere bei kleinen Öffnungen. Dementsprechend verursacht eine Verstopfung eine Abnahme des Kapazitätskoeffizienten, insbesondere bei größeren Öffnungen.

Ein Fehler in einem abgenutzten oder in einem verstopften Ventil kann am besten ermittelt werden durch das Verfolgen der Änderung des Kapazitätskoeffizienten des Ventils in bezug auf den ursprünglichen Kapazitätskoeffizienten.

Fig. 3 zeigt die relative Änderung des Kapazitätskoeffizienten eines abgenutzten Ventils als Funktion des Öffnungswinkels  $\alpha$ . Wie aus der Fig. 3 entnommen

werden kann, kann die Abnutzung deutlich gesehen werden, insbesondere bei kleinen Öffnungswinkeln. Durch das Verfolgen der relativen, in Fig. 3 dargestellten Änderung beispielsweise mittels eines Digitalpositionierers ist es möglich, auf die Geschwindigkeit der Abnutzung in dem Ventil zu schließen und 5 zu entscheiden, wann das Ventil spätestens gewechselt werden muss.

Fig. 4 zeigt die Änderung des Kapazitätskoeffizienten eines blockierten Ventils in bezug auf den ursprünglichen Kapazitätskoeffizienten. Wie aus Fig. 4 entnommen werden kann, kann die durch Verstopfung verursachte Abnahme des 10 Kapazitätskoeffizienten im gemessenen Fall deutlicher bei größeren Öffnungswinkeln gesehen werden.

Die Erfindung ist nicht beschränkt auf die vorstehenden Ausführungsbeispiele, sondern kann innerhalb des Schutzbereiches der Ansprüche variieren. Statt 15 eines Drehventils kann das Steuerventil auch ein Linearventil sein. Der Aktuator muss kein Kolben-Zylinder betätigter sein, er kann beispielsweise auch elektrisch betätigt werden.

08.03.00

### Patentansprüche

1. Verfahren zum Erkennen eines Fehlers und zum Identifizieren der Komponente, in der der Fehler auftritt, in einer automatisch betätigten Ventilanordnung des Typs, der mehrere Komponenten einschließlich wenigstens eines Aktuators, eines Ventilelementes und eines durch ein Steuersignal gesteuerten Positionierers besitzt, gekennzeichnet durch die folgenden Schritte:
  - 10 (a) Festlegen eines mathematischen Modells zur Arbeitsweise einer Steuerventilanordnung, wobei das Modell gebildet wird aus wenigstens einer Gleichung und kritische Parameter für wenigstens einen Aktuator, das Ventilelement und den Positionierer enthält, wobei jeder Parameter die Arbeitsweise von einer der Komponenten der Ventilanordnung beschreibt;
  - 15 (b) Sammeln von mehreren Werten des Steuersignals und korrespondierender Positionen des Ventilelements;
  - 20 (c) Berechnen der kritischen Parameter des Modells auf der Grundlage gemessener Daten, so dass das Modell die aktuelle Arbeitsweise der Ventilanordnung wiedergibt; Überwachen oder Beobachten der Änderungen in den kritischen Parametern auf der Grundlage von an diese angepassten Parametern; und Lokalisieren der fehlerhaften Komponente der Ventilanordnung durch Ermitteln einer signifikanten Änderung der korrespondierenden kritischen Parameter.
2. Verfahren wie in Anspruch 1 beansprucht, in welchem die Steuerventilanordnung einen Kolben-Zylinder-betätigten Aktuator einschließt und ein Verfahren, das die Messung des Zylinderdruckes als Teil der Daten einschließt.

3. Verfahren nach Anspruch 1,

**dadurch gekennzeichnet,**

dass die gemessenen Daten auch Daten aus den Eingangs- und Austrittsdrücken ( $p_1, p_2$ ) des Steuerventils und aus dem Volumenstrom

5 (q) durch das Steuerventil einschließt, und eine Abnutzung des Verschlusselementes des Steuerventils oder eine Verstopfung des Ventilkörpers ermittelt wird.

4. Verfahren nach Anspruch 1,

**dadurch gekennzeichnet,**

dass die Verstärkung ( $k_p$ ) des Positionierers als kritischer Parameter für den Positionierer verwendet wird.

5. Verfahren nach Anspruch 1,

**dadurch gekennzeichnet,**

dass der Aktuatkoeffizient (b) als kritischer Parameter für den Aktuator verwendet wird.

6. Verfahren nach Anspruch 1,

**dadurch gekennzeichnet,**

dass die Reibungsbelastung ( $M_\mu$ ) des Steuerventils als kritischer Parameter für das Steuerventil verwendet wird.

7. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche 1 bis 6, in welchem

25 die Steuerventilanordnung ein Vierteldrehungsventil und einen Kolben-Zylinder-betätigten Aktuator einschließt und in welchem die folgende Gleichung als mathematisches Modell benutzt wird:

$$(m_{red} \times \frac{dx}{d\psi} + J \times b(\psi)) \frac{d^2\psi}{dt^2} + m_{red} \times \frac{d^2x}{d\psi^2} \left( \frac{d\psi}{dt} \right)^2 +$$

30  $(f_m \times \frac{dx}{d\psi} + f_v b(\psi)) \frac{d\psi}{dt} + b(\psi) \times M_\mu - F_m (p_A, p_B) = 0 \quad (1)$

wobei  $x$  = vom Aktuatkolben zurückgelegte Distanz

06.03.00

$\psi$  = Rotationswinkel des Ventils

$t$  = Zeit

$m_{red}$  = reduzierte Masse des Aktuatorkolbens

5  $J$  = kombiniertes Anfangsmoment des Ventils und des  
Aktuators

$b$  = Aktuatorkoeffizient

$M_\mu$  = Reibungsmoment des Ventils

$f_m$  = Beschleunigungskoeffizient des Aktuators

$f_v$  = Beschleunigungskoeffizient des Ventils

10  $F_m$  = auf den Aktuatorkolben ausgeübte Kraft

$p_A, p_B$  = Druckniveaus des Aktuatorzylinders

8. Verfahren nach Anspruch 7,

dadurch gekennzeichnet,

15 dass die Druckniveaus des Aktuatorzylinders mittels des folgenden  
mathematischen Modells errechnet werden:

$$p_A = \psi (k, V_A, T_a, m_a, A_A, x, R, M) \quad (2)$$

$$p_B = \theta (k, V_B, m_B, m_b, A_B, x, R, M) \quad (3)$$

20 wobei  $\psi, \theta$  = mathematische Funktionen  
 $k$  = polytropische Konstante

$V_A, V_B$  = Luftpolumen des Aktuatorzylinders

$m_B$  = Luftmasse in dem Zylinder

25  $T_a$  = Temperatur der Luft, die den Zylinder betritt

$m_a$  = Massenfluss der Luft, die den Zylinder betritt

$m_b$  = Massenfluss der Luft, die den Zylinder verlässt

$A_A, A_B$  = Kolbenflächen des Aktuators

$x$  = ebenso wie in Gleichung (1)

08.03.00

R = Gaskonstante

M = Molmasse

9. Verfahren nach Anspruch 8,  
5 **dadurch gekennzeichnet,**  
dass der Massenfluss an Luft, der die eine Hälfte des Aktuatorzylinders  
betrifft, aus dem Folgenden errechnet wird:

$$m_a \approx f(A_a) \approx g(e) \quad (4)$$

10 wobei  $f, g$  = mathematische Funktionen  
 $A_a$  = effektive Querschnittsflussfläche der einen Hälfte A des  
Regelventils  
 $e$  = Position der Spule oder des Tellers

15 10. Verfahren nach Anspruch 9,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
dass die Position der Spule oder des Tellers des Regulierungsventils des  
Positionierers aus dem Folgenden berechnet wird:

20  $e = \phi(k_p, i, h)$  (5)

wobei  $\phi$  = mathematische Funktion  
 $k_p$  = Verstärkung des Positionierers  
25  $i$  = Steuersignal  
 $h$  = Öffnung des Steuerventils

11. Vorrichtung zum Ermitteln eines Fehlers in einer automatisch betätigten Steuerventilanordnung, wobei die Ventilanordnung mehrere Komponenten einschließlich wenigstens eines Ventilelementes (2), eines Aktuators (3) und eines Digitalpositionierers (5) einschließt sowie auch Mittel zum Messen, Übertragen, Aufzeichnen und Verarbeiten von Daten, die aus mehreren Werten eines Steuersignals (i) und entsprechenden Werten der Position (h) des Steuerventils bestehen,  
**dadurch gekennzeichnet,**

10       dass die Mittel zum Verarbeiten der Daten ein Programm einschließlich eines mathematischen Modells zur Betriebsweise der Steuerventilanordnung einschließen, wobei das Modell aus wenigstens einer Gleichung gebildet ist und kritische Parameter für zumindest den Aktuator (3), das Ventilelement (2) und den Positionierer (5) einschließt,

15       wobei jeder Parameter die Betriebsweise einer der Komponenten der Ventilanordnung beschreibt; und

19       dass das Programm angepasst ist zur Berechnung der kritischen Parameter des Modells auf der Grundlage der gemessenen Daten, so dass das Modell die aktuelle Betriebsweise der Ventilanordnung wiedergibt; zur Beobachtung der Änderungen in den kritischen Parametern auf der Grundlage dieser angepassten Parameter; und zum Lokalisieren einer fehlerhaften Komponente der Ventilanordnung durch Ermitteln einer signifikanten Änderung eines entsprechenden kritischen Parameters.

06.03.00

1

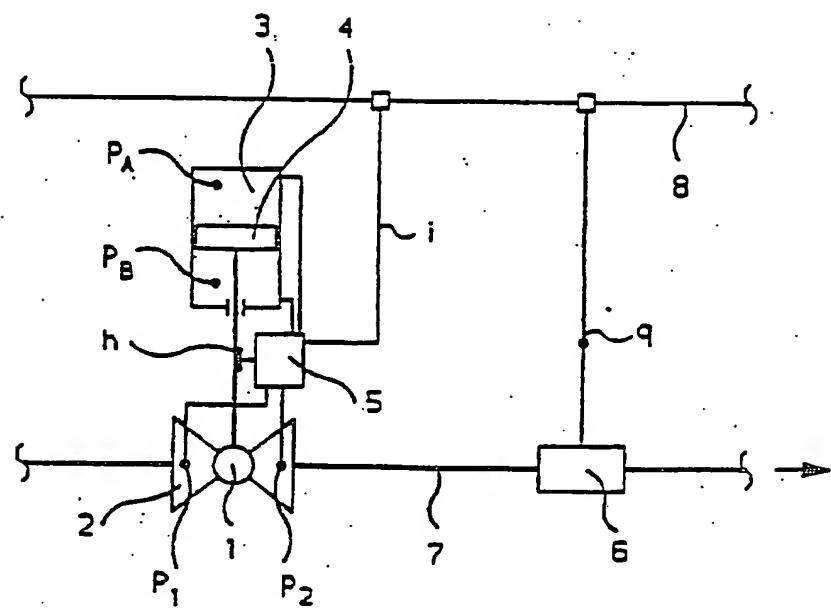
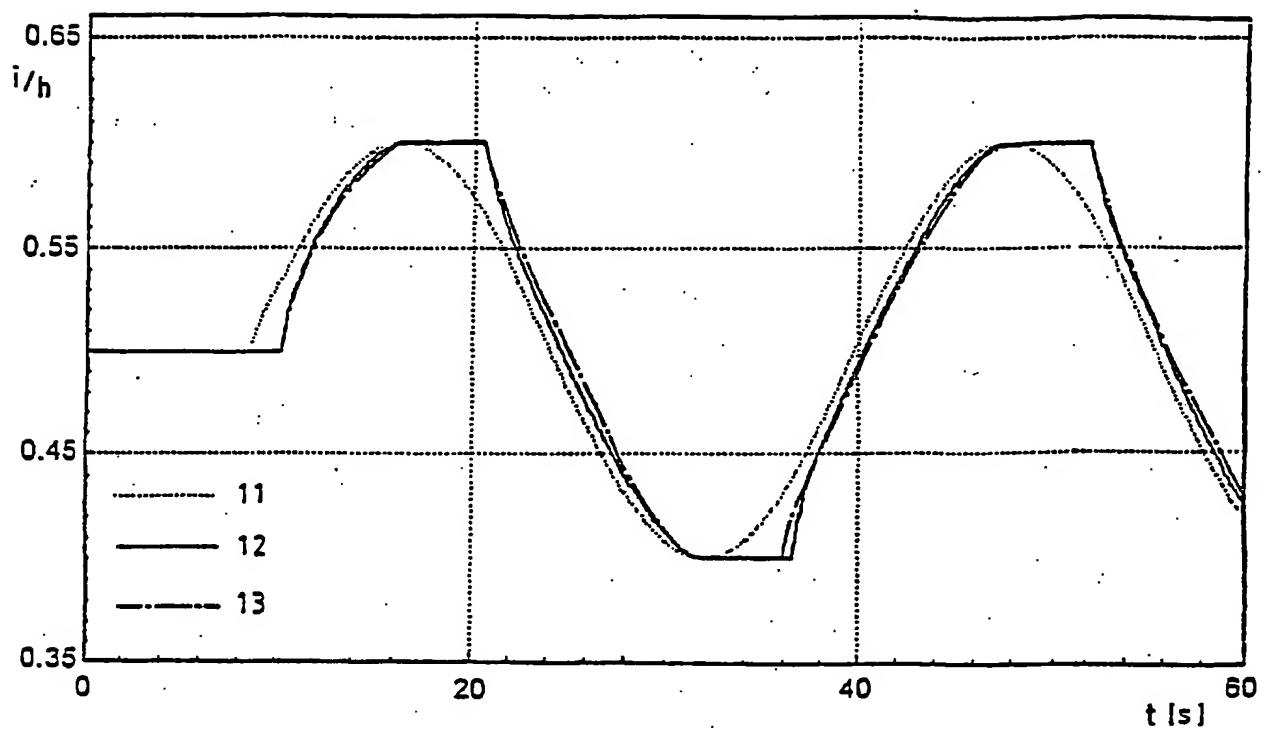


Fig. 1

06.03.00

2

Fig. 2



06.03.00

3

$\frac{\Delta C_v}{C_v} \cdot 100\%$

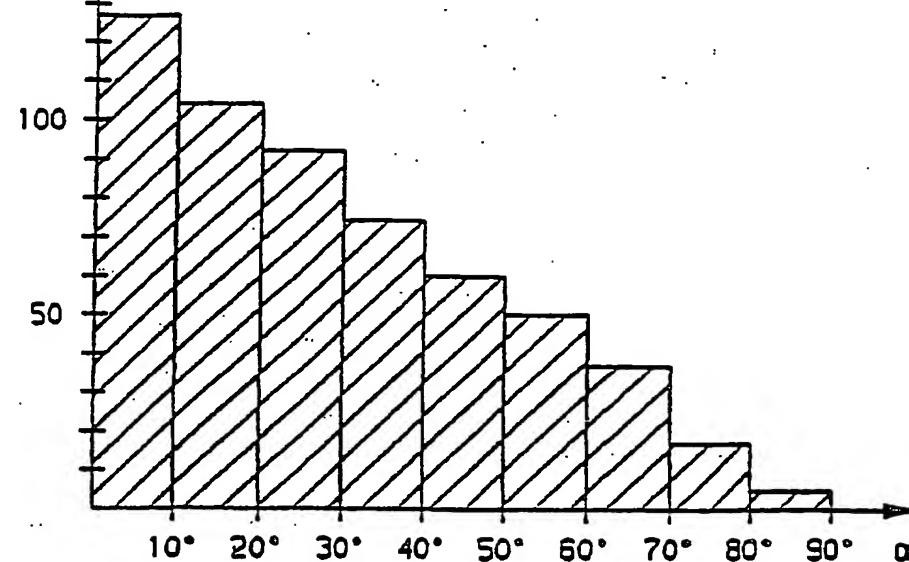


Fig. 3

$\frac{\Delta C_v}{C_v} \cdot 100\%$

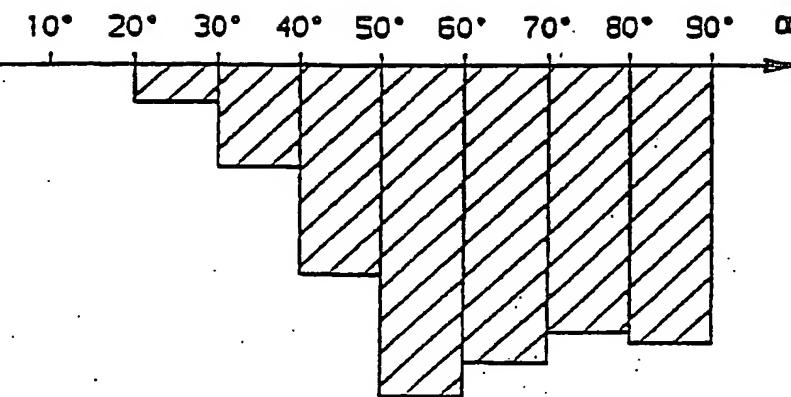


Fig. 4